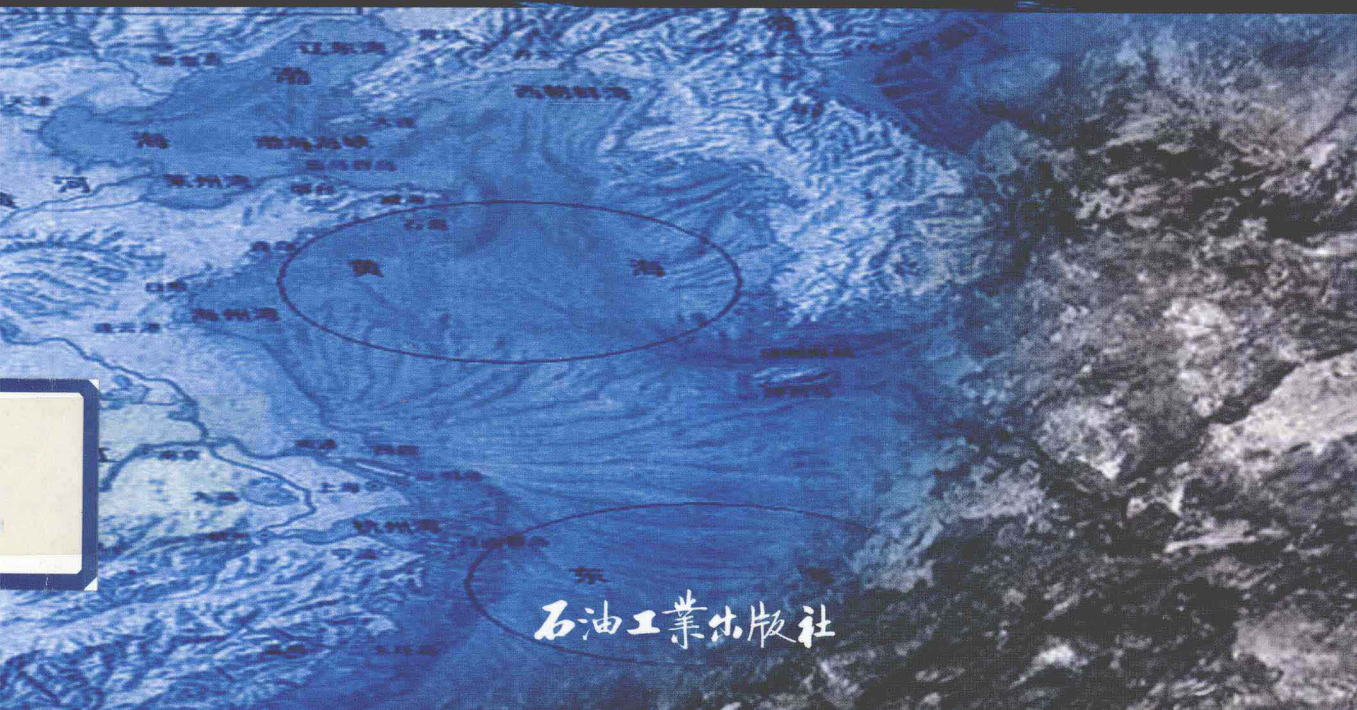


中国近海新生代 陆相烃源岩与油气生成

黄正吉 龚再升 孙玉梅 宗国强 李沛然 著



中国近海新生代 陆相烃源岩与油气生成

黄正吉 龚再升 孙玉梅 宗国强 李沛然 著



石油工业出版社

内 容 提 要

本书是对分布于中国近海的渤海(海域)、东海、珠江口、琼东南和北部湾盆地新生代陆相烃源岩及其油气生成的总结。全书共分五章。第一章在盆地研究的基础上,讨论了盆地演化与烃源岩形成的内在联系,探索了烃源岩形成的古环境特征及预测方法;第二章详尽讨论了5个盆地的新生代陆相烃源岩及石油与天然气特征、油气成因、追索了烃源层;第三章选择了烃源岩产烃模拟实验方法,用封闭湿法研究了海域新生代代表性烃源岩的石油生成过程,编制了产油率曲线,建立了各类烃源岩的生排烃模式;第四章采用天然气源岩定量评价技术,定量研究了各类烃源岩的天然气生成过程,探索了生气规律;第五章采用同步辐射X射线荧光分析技术,检测了各盆地代表性原油样品中的微量元素组成,检测与研究结果为识别海域原油的成因类型增加了新的标志。

本书可供从事中国海洋石油勘探的地质工作者、科研人员和大专院校有关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

中国近海新生代陆相烃源岩与油气生成 / 黄正吉, 龚再升, 孙玉梅等著.
北京: 石油工业出版社, 2011. 3

ISBN 978-7-5021-8252-6

I. 中…

II. 黄…

III. 近海-新生代-陆相生油-油气藏-研究-中国

IV. P618.130.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第007130号

出版发行: 石油工业出版社

(北京安定门外安华里2区1号 100011)

网 址: www.petropub.com.cn

编辑部: (010) 64523544

发行部: (010) 64523620

经 销: 全国新华书店

印 刷: 石油工业出版社印刷厂

2011年3月第1版 2011年3月第1次印刷

787×1092毫米 开本: 1/16 印张: 17

字数: 430千字

定价: 65.00元

(如出现印装质量问题, 我社发行部负责调换)

版权所有, 翻印必究

序

随着我国国民经济的快速发展，石油消费也在快速增长，油气供需矛盾则日益突出。加强国内油气勘探，增强油气资源对国民经济持续发展的保障能力已十分迫切。我国油气勘探陆海相比，海域勘探程度低，加快海域油气勘探步伐、实现油气资源海陆接替已成必然。

为了促进海域石油勘探更快发展，深化海域各盆地的石油地质研究显得尤为重要。油气勘探，烃源岩研究是基础。《中国近海新生代陆相烃源岩与油气生成》对中国近海渤海(海域)、东海、珠江口、琼东南和北部湾5个盆地22个凹陷中分布的新生代陆相烃源岩与油气生成进行了研究和论述，纵观全书，有两个显著的特点：

其一，从宏观到微观，有条理，有依据，有科学价值。

专著从盆地研究入手，探索了盆地类型、演化与烃源岩形成的内在联系；论述了各盆地各类烃源岩的形成发育、成烃演化历史及油气成因、油气源追踪、某些油田的油气成藏；选点研究了烃源岩沉积有机相，探讨了烃源岩的分布规律；理出了纵向上在盆地裂陷发育期找湖相烃源岩，在盆地裂陷衰退期找煤系烃源岩，横向上在好的有机相分布区圈定烃源岩的平面分布的思路。

其二，烃源岩评价从定性到定量，方法合理，依据充分，评价结果有较高可信度。

在烃源岩定性评价的基础上，采用优选的产烃模拟实验技术研究了4个盆地代表性烃源岩的石油生成过程，探讨了成油规律，评价了烃源岩产油能力，编制了各类烃源岩的产油率曲线，建立了相应烃源岩的生排烃模式。湖相烃源岩的产油能力普遍高于煤系烃源岩；湖相烃源岩的母质类型越好产油能力越强。采用天然气源岩定量评价技术研究了近海海域各类烃源岩的生气过程，探讨了生气规律，评价了烃源岩产气能力。实验结果说明，煤系烃源岩是海域最具潜力的气源岩。

中国海洋石油工业的发展经历了从无到有，从小到大的发展历程。从1967年海上原油产量203t起步至2007年 4046×10^4 t油当量，这突飞猛进的发展得益于国家的改革开放、正确的石油勘探战略和全体海洋石油人的努力拼搏。

本专著的主要作者黄正吉高级工程师是海洋石油人中的普通一员，他所学专业是石油及天然气地质，前期在长庆油田，后期从事中国海域石油地质与石油地球化学研究工作。他是一位石油勘探和油气地球化学的痴迷者和探索者，在平凡岗位上，积累素材，总结规律，在他退休之时，奉献给读者《中国近海新生代陆相烃源岩与油气生成》专著，这是可喜可贺的！可贵可敬的是，一位普通科技工作者孜孜不倦的追求科学精神，结出硕果。专著中有十分珍贵的海域基础信息，值得从事油气勘探研究的读者一读。

本专著的出版将会对加速海域油气勘探有所裨益。借此机会，衷心祝愿海洋石油勘探更快发展，为国家找到更多的油气资源，为祖国石油工业的发展作出更大贡献！

中国科学院院士



2009.10.9.

前 言

中国海洋石油工业的发展经历了从无到有,从小到大的发展历程。1967年,渤海海1井获商业油流,当年海上原油产量203t,标志着中国海洋石油工业从此起步。随着我国改革开放的步伐加快,中国海洋石油的年产量持续上升,1990年达到 140×10^4 t,1996年跃上 1500×10^4 t,2002年突破 2400×10^4 t,2007年实现油气当量 4046×10^4 t,2008—2009年仍然保持了上升的势头。中国海洋石油工业跨越式的发展业绩,振奋了国人,更鞭策和激励了海洋石油人。揭开海域烃源神秘的面纱,促进海洋石油勘探更快发展,为祖国找到更多的油气资源是海洋石油地质工作者的神圣使命,更是义不容辞的职责。

作为中国海洋石油工业快速发展的见证者,笔者很荣幸地参加了珠江口盆地早期油气资源评价(1980—1982)、中国海域第二、三轮(1990—1993、2001—2003)油气资源评价,并主持完成了中国海域第二、三轮油气资源评价项目所属的“中国近海海域烃源岩研究”专题。两轮烃源岩研究所得到的认识与宏伟的油气资源评价结果相比是肤浅的,但对进一步认识海域烃源岩的本来面目打下了必要的基础。在此基础上,笔者将相关内容进行梳理,希望能对有志于中国海洋石油勘探的读者深究和升华某些问题有所帮助,更希望能对加速海域油气勘探有所裨益。

中国海域由渤海、黄海、东海、南海和台湾以东太平洋一隅五大海区组成,海疆宽广。在这辽阔海域之中发育了众多类型的中—新生代沉积盆地以及众多的烃源岩系。目前,已经发现的一大批油田与天然气田,盆地类型多样,烃源岩层系繁多,油气类型不一。因此,中国海域应该是一个富集油气资源的巨大宝库。

全书对分布于中国近海的渤海(海域)、东海、珠江口、琼东南和北部湾盆地从盆地演化、烃源岩形成的古环境预测到烃源岩有机质的微观组成、产烃能力、成烃规律、成烃演化历史以及油气成因、油气源追踪、某些油田的油气成藏、原油中微量元素组合特征等诸多方面进行了较系统地研究和论述。

(1) 中国近海发育有众多类型的新生代沉积盆地,各类盆地性质不同,其成盆、成烃和成藏各有特性,但是各盆地结构、演化过程及烃源岩的形成却有相似之处。表现为各盆地均为双层结构,以古近、新近系间的不整合面为界,分上下两个构造层,下构造层为裂陷型沉积,上构造层为拗陷型沉积;陆内裂谷盆地、聚敛型陆缘盆地和离散型陆缘盆地的主要烃源岩均发育在下构造层;裂陷期的裂陷作用具幕式张裂特征,裂陷过程可分为4个裂陷期(幕),各盆地的主力油源岩均发育在裂陷第Ⅱ期。这些烃源岩系是渤海海域始新统沙河街组三段、北部湾盆地始新统流沙港组、珠江口盆地始新统文昌组、东海盆地西部拗陷带古新统月桂峰组;离散型陆缘盆地的主力气源岩为煤系烃源岩,发育在盆地裂陷第Ⅲ期,它们是琼东南盆地渐新统崖城组,珠江口盆地始新一渐新统恩平组;东海盆地东部拗陷带的主力气源岩是始新统平湖组。

(2) 在盆地演化与烃源岩形成研究的基础上,探索了烃源岩形成的古环境特征及预测方法。优质烃源岩的形成离不开有机质,而有机质的富集与保存需要有稳定下沉的构造条件、一定深度一定广域一定时域的富营养性水体以及持续的还原环境,在此条件下,生物群得以繁衍,有机质得以保存与转化。反过来,地质剖面中古生物化石群及碎屑状沉积有

机质的分布状况是地质历史中地质条件和古环境状况的忠实记录，考察古生物化石群及碎屑状沉积有机质的保存记录，就可以反演有机质得以保存的古环境状况。通过对珠江口盆地西部古近系古生物化石群和碎屑状沉积有机质的分布状况以及相应层段烃源岩质量的仔细研究，可以看出，研究地质剖面中孢粉藻类化石群的分异度和分散在沉积物中的碎屑有机质含量及分布，是追索有机质富集与保存的古环境条件、宏观预测优质烃源岩发育层段的有效途径。

(3) 详尽论述了渤海（海域）、东海、珠江口、琼东南和北部湾盆地的新生代陆相烃源岩的成烃条件，包括有机质含量、生源构成、类型特征和成烃演化历史。这些烃源岩系是渤海（海域）古新统孔店组、始新统沙河街组三、四段、渐新统沙河街组一段和东营组下段；北部湾盆地始新统流沙港组和渐新统涠洲组；东海陆架盆地西部坳陷带古新统月桂峰组，东部坳陷带始新统平湖组和渐新统花港组；珠江口盆地始新统文昌组和始新一渐新统恩平组；琼东南盆地渐新统崖城组。

(4) 重点研究了珠江口盆地珠三坳陷烃源岩的沉积有机相，分别考察了湖相和煤系两类烃源岩沉积有机相垂向序列和平面展布，对优质烃源岩分布和成烃性质作了预测，总结了预测方法。研究结论：优质烃源岩的发育及分布不仅仅与沉积相有关，确切地说，优质烃源岩发育及分布与好的有机相带的形成和分布息息相关。其中优质湖相烃源岩的分布主要受控于深湖菌藻腐泥母质有机相和浅湖菌藻混源母质有机相的发育程度，此两类有机相分布区是优质湖相烃源岩主要形成地区，也是石油生成的主要地区，该地区及其周缘是石油勘探的最有利地区；煤系烃源岩主要分布在湖沼、河流—沼泽煤系陆源母质有机相分布区，该相区是天然气生成的有利地区。

(5) 研究了渤海（海域）、东海、珠江口、琼东南和北部湾盆地的石油与天然气特征、油气成因，并追索了烃源层，包括渤海海域 5 种类型的原油和 3 种有机成因的天然气；东海陆架盆地 2 种成因的原油和 2 种成因的天然气；北部湾盆地的原油；珠江口盆地 3 种类型的原油和 3 种不同成因的天然气；琼东南盆地 3 种不同成因的原油以及崖 13-1 气田的天然气。

(6) PL19-3 油田是迄今我国近海发现的最大油田，烃源岩层是沙河街组和东营组下段。油气属于多期注入成藏，早期注入的油气成熟度相对较低，聚集在构造最高部位，后期注入的油气成熟度高，聚集在构造翼部。各期次油气运聚历史由原油的生物标志物运移参数和流体包裹体分析资料所记录。

BZ25-1 油田是渤海海域发现的地质储量达亿吨级的大油田，其油气主要源自沙河街组三段和一段烃源岩，源自沙一段烃源岩的油气主要来自沙南及渤中凹陷，源自沙三段烃源岩的油气既来自黄河口凹陷，亦有渤中凹陷的贡献。明化镇组油气藏成藏晚，早期注入的原油遭受了生物降解，后期注入的原油相对较轻，成熟度较高；深层沙河街组油气藏为 2—3 期运聚成藏，中新世为主要成藏期，上新世末—第四纪时受新构造运动的影响，油气藏发生调整，油气藏中的部分油气沿断层向浅层运移，使浅部油藏的原油品质得到改善，同时又有较高成熟度的油气注入深部储层，形成了新的动平衡成藏。

(7) 采用了 3 种不同的热模拟产烃实验方法，对同一块生油岩样品分别做了油气生成的热模拟实验，对比了实验结果，选择了较合理的实验方法，用所选择的封闭湿法比较系统地研究了海域新生代陆相烃源岩的石油生成过程，编制了产油率曲线，建立了相应烃源岩的生排烃模式，为石油资源量预测提供了依据。参与实验的烃源岩有：渤海海域沙河街

组三段含 I 型有机质湖相泥岩、含 II₁型有机质湖相泥岩、沙河街组一段含 II₁型有机质湖相泥岩和东营组下段含 II₁型有机质湖相泥岩，东海陆架盆地月桂峰组含 II₁型有机质湖相泥岩，北部湾盆地流沙港组含 I 型有机质湖相泥岩和含 II₂型有机质湖相泥岩，珠江口盆地文昌组含 II₁型有机质湖相泥岩和恩平组含 II₂型有机质煤系泥岩。

(8) 封闭湿法产烃模拟实验是再现石油生成过程、探讨成油规律、评价烃源岩产油能力的合理方法，这是多数研究者得到的共识。但是，该实验所获得的天然气却是烃源岩干酪根裂解气与原油裂解气的混合物，模拟温度越高原油裂解气所占比例越大。因此，该方法不能准确获得各演化阶段烃源岩干酪根的天然生成量，难以确切评价烃源岩各演化阶段的产气能力。天然气烃源岩定量评价技术（李剑等，2000，2001；谢增业等，2002）克服了封闭产烃模拟实验已形成烃类多次裂解的弊端，可以准确计量各演化阶段烃源岩干酪根的天然生成量，评价产气能力，探索成气规律。本书采用了该技术，定量研究了中国海域各类烃源岩的天然气生成过程，探讨了生气规律，编制了天然气产率曲线，建立了相应烃源岩的天然气生成模式，为提高天然气资源量预测精度提供了依据。用于实验的烃源岩有：渤海（海域）、东海陆架盆地、北部湾盆地和珠江口盆地含各类有机质的湖相烃源岩，东海陆架盆地、琼东南盆地和珠江口盆地煤系烃源岩，琼东南盆地和莺歌海盆地的部分海相烃源岩。3 个盆地煤系烃源岩天然气生成的共同特征有二，一是有很高的天然气产率；二是出现了两个成气高峰，第一个高峰出现在高成熟阶段，第二个高峰出现在过成熟阶段，表现出成气窗宽、产气率高的特征。湖相烃源岩的产气率远低于煤系烃源岩，天然气大量产出仅出现一个成气高峰，过成熟阶段并无第二个成气高峰出现。相比之下，煤系烃源岩是中国近海最有潜力的气源岩。在国内外的天然气勘探中，人们发现大气田的存在往往与煤系地层有关，由实验结果来看，原因就在于煤系烃源岩天然气生成的产率高，成气窗宽，累计产气量大。因此，本实验结果为回答天然气勘探中的某些重大问题提供了有意义的实验依据。

(9) 同步辐射是一种十分神奇的新型光源，已经在物理学、化学、材料科学、生命科学、医学等众多学科领域得到了广泛应用。由于同步辐射能提供一个波长从可见光直到 X 光连续可调的光源，而且它具有高强度（亮度）、高度准直、线偏振及宽频可调等特性，因此，同步辐射 X 射线荧光分析技术分析原油中的微量元素具有高效、快捷、高精度等特点，是一项可以应用于石油研究的高新技术。采用该技术，检测了渤海（海域）、东海、琼东南、莺歌海、珠江口和北部湾 6 个盆地代表性原油样品中的微量元素组成。检测结果显示，中国近海海域的湖相原油富集 Cu 和 Zn 元素，海相原油富集 Cr 和 Mn 元素，煤系凝析油及部分混合成因的原油 4 种元素均为低含量。这些特征性的元素组成是识别原油成因类型的有效标志。

本书在中国海洋石油总公司朱伟林总地质师的关怀下组织编写，原总地质师龚再升教授为技术指导并参与编写。全书共五章，各章节的执笔人是：龚再升、黄正吉（第一章）；黄正吉、孙玉梅（第二章第一节）；黄正吉、李沛然（第二章第二、三、五节、第三、四章）；黄正吉、孙玉梅、胡桂馨（第二章第四节）；黄正吉、宗国强（第五章）。全书由龚再升教授审定。

承蒙中国海洋石油总公司朱伟林总地质师、中国石油勘探开发研究院朱光有博士先后审阅书稿，并提出宝贵的修改意见；产油产气模拟实验的设计构思、条件设置和实验得到中国石油勘探开发研究院廊坊分院蒋助生教授级高级工程师、李剑博士，中国石油华北油

田公司勘探开发研究院刘宝泉教授级高级工程师、王东良博士，中国石油大学（北京）柳广第教授和高岗教授的指导，中国石油勘探开发研究院廊坊分院李志生硕士、王春怡工程师、罗霞博士，中国石油华北油田公司勘探开发研究院郭树芝高级工程师、国建英高级工程师、于国营高级工程师等付出了辛勤的劳动；原油中微量元素的测定及资料应用得到长江大学李葵发教授、中科院高能物理研究所黄宇营研究员的指导帮助，并对第五章第一、二节的初稿提出了宝贵的修改意见。在近海烃源岩的研究工作中得到中国海洋石油总公司朱伟林总地质师和杨甲明、张宽等相关领导以及中国海域第二、三轮油气资源评价项目全体同仁和许多地球化学研究同行的指导、支持与帮助，并参阅和汲取了许多同行的研究成果；在本书的出版过程中，得到石油工业出版社在出版费用上的资助，在此一并致以诚挚的谢意。

最后，特别感谢德高望重的中国科学院戴金星院士在百忙中抽时间审阅书稿、提出宝贵的修改意见，并为本书热情作序，同时，对加速我国海洋油气勘探热切寄语。我们深信，老一辈科学家的殷切希望将会进一步激发海洋油气勘探者的奋斗激情，这种激情将在奋斗者为国家找到更多油气资源来报效祖国的征程中绽放出奇光异彩，结出累累硕果。

由于笔者水平所限，书中错误和不足之处在所难免，敬请读者批评指正。

目 录

第一章 盆地类型、演化与烃源岩形成	(1)
第一节 中国近海盆地类型	(1)
一、陆内裂谷盆地	(1)
二、聚敛型陆缘盆地	(1)
三、离散型陆缘盆地	(3)
四、扭张型陆缘盆地	(3)
五、边缘海盆地	(3)
第二节 盆地演化与烃源岩形成	(3)
一、陆内裂谷盆地	(3)
二、聚敛型陆缘盆地	(7)
三、离散型陆缘盆地	(8)
四、扭张型陆缘盆地	(10)
第三节 烃源岩形成的古环境特征	(11)
一、孢粉藻类化石群分异度	(11)
二、孢粉型和碎屑状沉积有机质的分布	(14)
本章小结	(17)
第二章 烃源岩与油气	(19)
第一节 渤海(海域)	(19)
一、五套烃源层	(20)
二、五种原油类型及油源分析	(36)
三、三种类型的天然气及气源分析	(40)
四、PL19-3 油田的油气来源及成藏过程	(45)
五、BZ25-1 油田的油气来源及成藏过程	(53)
本节小结	(59)
第二节 北部湾盆地	(61)
一、两套烃源层	(61)
二、原油特性及油源分析	(71)
本节小结	(74)
第三节 东海陆架盆地	(75)
一、湖相烃源岩及成烃的证据	(75)
二、煤系烃源岩及成烃的证据	(79)
三、煤系烃源岩的倾油倾气性问题	(93)
本节小结	(94)

第四节	珠江口盆地	(96)
一、	湖相和煤系两类烃源岩	(96)
二、	烃源岩有机相特征	(129)
三、	三种类型的原油及油源分析	(150)
四、	三种类型的天然气及气源分析	(157)
	本节小结	(158)
第五节	琼东南盆地	(160)
一、	两套烃源层	(160)
二、	三种类型的原油及油源分析	(163)
三、	天然气的成因及气源分析	(166)
	本节小结	(168)
第三章	油气生成模拟实验	(170)
第一节	模拟实验方法选择	(170)
一、	开放系统产烃模拟实验及结果	(170)
二、	封闭系统产烃模拟实验及结果	(172)
三、	两种系统实验结果对比	(173)
四、	封闭系统下的“干法”与“湿法”产烃模拟实验对比	(174)
第二节	湖相烃源岩油气生成模拟实验	(176)
一、	样品及实验	(176)
二、	渤海(海域)湖相烃源岩的生烃特征、产烃率及生排烃模式	(177)
三、	东海陆架盆地湖相烃源岩的生烃特征、产烃率及生排烃模式	(183)
四、	珠江口盆地湖相烃源岩的生烃特征、产烃率及生排烃模式	(184)
五、	北部湾盆地湖相烃源岩的生烃特征、产烃率及生排烃模式	(186)
第三节	煤系烃源岩油气生成模拟实验	(188)
一、	样品及实验	(188)
二、	珠江口盆地恩平组煤系泥岩的生烃特征、产烃率及生排烃模式	(188)
	本章小结	(190)
第四章	天然气源岩定量评价	(191)
第一节	评价方法	(191)
第二节	煤系烃源岩天然气生成特征	(191)
一、	珠江口盆地煤系烃源岩的累计产气量及成气特征	(191)
二、	琼东南盆地煤系烃源岩的累计产气量及成气特征	(193)
三、	东海陆架盆地煤系烃源岩的累计产气量及成气特征	(193)
第三节	海相烃源岩天然气生成特征	(194)
一、	莺歌海盆地海相烃源岩的累计产气量及成气特征	(194)
二、	琼东南盆地海相烃源岩的累计产气量及成气特征	(195)
第四节	湖相烃源岩天然气生成特征	(195)
一、	渤海(海域)湖相烃源岩的累计产气量、成气特征及评价	(195)

二、北部湾盆地湖相烃源岩的累计产气量及成气特征	(204)
三、东海陆架盆地湖相烃源岩的累计产气量及成气特征	(205)
四、珠江口盆地湖相烃源岩的累计产气量及成气特征	(206)
本章小结	(207)
第五章 原油中微量元素分布特征	(209)
第一节 同步辐射	(209)
第二节 同步辐射 X 射线荧光分析 (SRXRF) 技术	(210)
一、SRXRF 分析原理	(210)
二、实验设备和方法	(210)
三、原油样品的制备	(211)
第三节 原油中微量元素含量测定	(211)
一、渤海 (海域) 原油的 XRF 谱及微量元素含量	(211)
二、北部湾盆地原油的 XRF 谱及微量元素含量	(214)
三、珠江口盆地原油的 XRF 谱及微量元素含量	(216)
四、东海陆架盆地原油的 XRF 谱及微量元素含量	(217)
五、琼东南盆地原油的 XRF 谱及微量元素含量	(219)
六、莺歌海盆地原油的 XRF 谱及微量元素含量	(220)
第四节 微量元素在原油成因研究中的应用	(222)
一、三种类型的原油	(222)
二、原油的成因	(223)
三、特征微量元素的富集因素	(224)
第五节 微量元素在油源研究中的应用尝试	(227)
一、渤海渤中地区部分原油的油源问题	(227)
二、珠江口盆地珠三坳陷部分原油的油源问题	(231)
本章小结	(232)
参考文献	(234)
图版	(243)

第一章 盆地类型、演化与烃源岩形成

第一节 中国近海盆地类型

中国海域由渤海、黄海、东海、南海和台湾以东太平洋一隅五大海区组成，海疆宽广，面积辽阔。因此，中国实属海洋大国。

中国海域发育了众多的中—新生代沉积盆地，多数分布在近海海域。按盆地大地构造位置、地壳性质将近海中—新生代沉积盆地分为4类，连同边缘海盆地共5种类型（龚再升等，1997），（表1-1、图1-1）。

表 1-1 中国近海盆地分类表

盆地类型	地壳性质	盆地名称
克拉通（陆内）裂谷盆地	陆壳（厚 30km 以上）	渤海湾、北黄海、南黄海、北部湾
聚敛型陆缘盆地	陆壳边缘，厚度略小于 30km	东海、台西
离散型陆缘盆地	陆壳—过渡壳，厚度 30 ~ 20km	珠江口、琼东南、台西南
扭张型陆缘盆地	陆壳—过渡壳，厚度 30 ~ 20km	莺歌海
边缘海盆地	洋壳，厚度 5 ~ 15km	冲绳海槽、南海中央海槽

一、陆内裂谷盆地

盆地发育在克拉通内部，地壳厚度在 30km 以上。这类盆地有渤海湾、北黄海、南黄海和北部湾盆地。渤海湾和北黄海盆地发育在中朝板块之上，基底是太古宇结晶基岩及元古宇变质岩。南黄海盆地发育在扬子板块之上，基底是元古宇变质岩。北部湾盆地发育在华南板块之上，基底是下古生界变质岩。

渤海由于“渤海地幔柱”的可能存在，使本区岩石圈发生垂直隆起，莫霍面位置随之上升，使地壳厚度减薄（李德生，1997）。据计算，地壳厚度渤中最薄为 29km，向四周增厚至 31 ~ 34km，华北平原地区为 33 ~ 35km（刘元龙等，1978）。南黄海盆地地壳厚度为 33 ~ 36km，北部湾盆地地壳厚度 36km（李德生，1982）。

据中国海域第三轮油气资源评价项目所属专题“中国近海主要含油气盆地成因法油气资源潜力评价”结果，在陆内裂谷盆地中油气最丰富者为渤海（海域），其次是北部湾盆地，南黄海和北黄海盆地列居其后。相比之下，渤海（海域）和北部湾盆地是近海陆内裂谷盆地中最具代表性的含油气盆地。

二、聚敛型陆缘盆地

盆地发育在中国大陆板块的东缘，地壳厚度小于 30km，盆地成因与太平洋板块和欧



图 1-1 中国近海盆地分类图

亚板块间的汇聚有关。东海盆地和台西盆地属于此类。钻井揭示，东海盆地的基底属元古宇变质岩。WZ6-1-1 井钻遇基岩为黑云母斜长片麻岩，同位素年龄为 2200Ma，灵峰 1 井钻遇基岩为黑云母角闪斜长片麻岩，同位素年龄为 1680Ma。虎皮礁隆起区的 KV-1 和 JDZ-V2 井亦钻遇了元古宇变质岩。部分地区是中生界沉积岩或火山岩。

中—新生代以来，由于太平洋板块向欧亚板块俯冲，造成了从东北亚的科里亚山脉到台湾一线北东走向的板块消减带，形成了环太平洋巨大的边缘海—岛弧—盆地体系。东海盆地和台西盆地位于岛弧以西，属弧后盆地。据新资料推算，东海陆架区莫霍面十分平坦，几乎没什么起伏，平均深度为 24.5km 左右（高德章，2001）。

台西盆地位于台湾海峡及台湾西部，是中国大陆向东延伸的台西地块上发育的盆地，属聚敛型陆缘盆地，或称为前陆盆地（龚再升等，1997）。

三、离散型陆缘盆地

盆地发育在南海北部大陆边缘,地壳厚度 20 ~ 30km。盆地成因与印支板块、欧亚板块和太平洋板块间的相互作用及南中国海的海底扩张有关。由于西太平洋板块向西俯冲引起东南亚大陆边缘岩石圈伸展,地壳发生拉薄、裂解、漂移、聚敛和碰撞等重新组合。位于东南亚大陆前缘的南海正是在这种板块运动背景和演化过程中形成了不同类型的大陆边缘。南海北部边缘为离散边缘,受张应力控制,形成了离散型陆缘盆地(龚再升,李思田等,1997)。因此,台西南盆地、珠江口盆地和琼东南盆地属离散型陆缘盆地。盆地基底多样化,主要为中生代岩浆岩,其次为经过多期次变质作用和岩浆灌入的前寒武系变质岩,以及古生界、中生界沉积岩。

四、扭张型陆缘盆地

莺歌海盆地发育在红河断裂带上,属于扭张型陆缘盆地。由于南海西侧受扭张应力的作用,使盆地走滑拉伸,形成了长条形巨厚的新生代海相沉积,因此,也称走滑—伸展盆地(张启明,1993;Gong Zaisheng 等,1996),或转换—伸展盆地(王华等,1999)。

莺歌海盆地北部莫霍面等深线呈北西方向展布,到东南部转向为东西方向,与西沙海槽相连,呈一弧形。地壳厚度 20 ~ 24km,为地幔隆起带。盆地基底可能南北不同,北部与华南板块相同,南部则与印支板块相同,为前寒武系古老岩系(邱中建,龚再升等,1999)。

五、边缘海盆地

冲绳海槽和南海中央海槽属边缘海盆地。由于菲律宾板块向西俯冲,造成冲绳海槽盆地地幔物质上拱,莫霍面抬升,地壳被拉薄、拉裂,形成地堑型盆地。因此,冲绳海槽盆地为弧后扩展盆地。该盆地沉积基地面深度为 0.7 ~ 5.5km,沉积层平均厚度约为 2km,最薄处约 1km,最厚处约 4km,主要为新近纪以来的新地层沉积(高德章等,2004)。冲绳海槽盆地北北东段莫霍面深度为 24.5km,南南西段仅 16km 左右(曾久岭等,2001)。

南海中央海盆莫霍面深度为 10 ~ 12km,是洋壳海区。海盆为深海沉积,厚度一般小于 1km,局部厚达 2 ~ 3km,海盆南北两侧物质来源较丰富。沉积物时代推测为晚渐新世—第四纪(龚再升,李思田等,1997)。

第二节 盆地演化与烃源岩形成

一、陆内裂谷盆地

(一) 渤海(海域)

渤海湾盆地是古近—新近纪在以拉张为主的构造应力场背景下形成的裂陷型盆地(朱夏,1979;李德生,1997;赵重远,1984;赵重远,刘池洋,1987)。盆地的形成与演化经历了古近纪的拉张裂陷与新近纪的沉降拗陷两大阶段,其中拉张裂陷阶段的拉张裂陷作用具多旋回性。以渤中凹陷为例,裂陷过程可分为 4 个裂陷期(幕)(图 1-2),各裂陷期具有不同的盆地发育过程和沉积充填特征,形成了不同的烃源层系(何仕斌等,2001)。

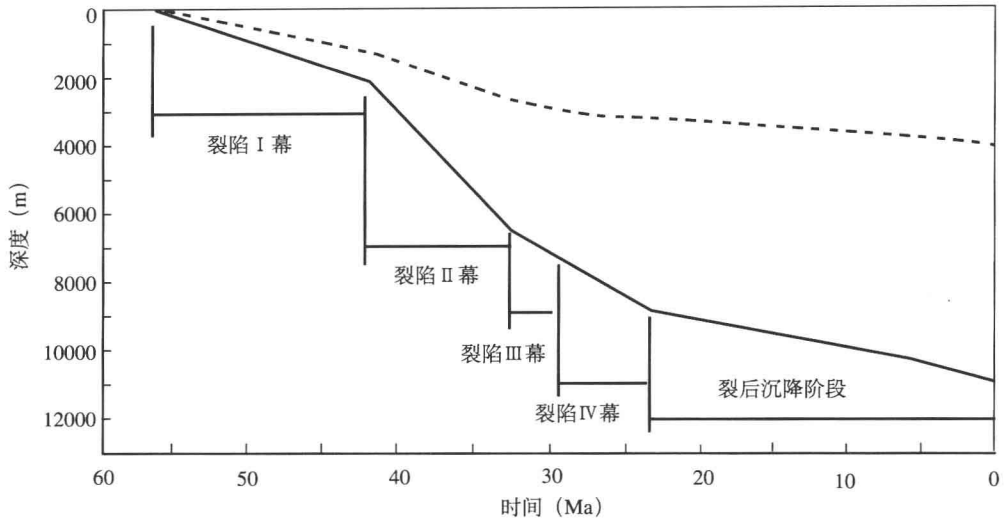


图 1-2 渤中凹陷沉降曲线 (据焦养泉, 1998; 何仕斌, 2001 修改)

1. 裂陷 I 期 (I 幕)

新生代初期, 随着地幔上隆地壳产生拉张, 以渤海中部为中心沿着渤海—下辽河、渤海—济阳和渤海—黄骅拗陷三条地幔上隆带上方地壳厚度变薄, 在岩石圈最薄弱的地带形成互不连通的裂陷槽 (沿海大陆架及毗邻海域油气区石油地质志编写组, 1990)。裂陷槽成群分布, 既有单断箕状 (半地堑), 又有双断堑状 (地堑), 以单断箕状者居多。例如, 渤中凹陷为箕状半地堑, 渤东凹陷为双断地堑 (图 1-3)。这些半地堑 (或地堑) 的发展受控凹断裂的控制, 控凹大断裂一侧断陷深, 沉积厚, 是烃源岩的主要发育部位。在大的断陷底部接受了裂陷 I 期的沉积充填, 地层时代属古新世—早始新世, 地层为孔店组—沙河街组四段。

孔店组—沙四段分布比较局限, 仅在渤中、辽中、沙南、歧口、黄河口、莱州湾等主要凹陷的腹部分布。PL7-1-1 等少数井钻遇孔店组, 揭露最大厚度 456m。钻井揭示, 孔店组沉积晚期局部地区已有湖泊形成, 具有形成湖相烃源岩的环境条件。

沙四段在 BZ6 和 KL11-1-1 等井钻遇。BZ10 井剖面揭示, 渤中地区沙四段下部岩性以红色粗碎屑为主, 上部出现“黑”段 (灰褐色)。莱州湾凹陷钻遇的沙四段, 岩性为褐色、深灰色泥岩、盐岩、碳酸盐岩夹薄层砂岩, 属盐湖相沉积。盐湖盆地由于水体封闭, 还原性强, 有利于有机质的保存, 可形成优质烃源岩。此认识已被陆上潜江、东濮和东营凹陷的勘探实践所证实 (方志雄, 2002; 胥菊珍等, 2003; 杜海峰等, 2008; 朱光有等, 2004)。莱州湾凹陷的沙四段, 具有形成咸化环境优质烃源岩的条件。

2. 裂陷 II 期 (II 幕)

始新世中—晚期, 地壳拉张加剧, 裂陷扩大, 水体加深, 各凹陷彼此相通, 形成了水域广阔的湖泊, 湖盆中仍有众多岛屿, 如埕宁古陆、垦东岛、沙垒田岛、石白坨岛、辽西半岛等大型岛屿, 此外, 还有众多小岛分布。此期由于长时间深陷沉降, 湖盆深, 水域面积大, 形成了各凹陷以深水湖泊为主的暗色泥岩沉积。该时期是渤海海域最重要的烃源岩发育期, 该烃源岩被命名为沙河街组三段。沙三段沉积时期气候温暖潮湿, 半咸水藻 (如渤海藻、副渤海藻) 十分发育, 这些浮游植物构成了沙三段烃源岩有机质生源构成的主体。

沙三段沉积广泛，各凹陷均有分布。钻井揭露地层厚度最大者为莱州湾凹陷，钻遇最大厚度 992m，辽东低凸起钻遇厚度 763.5m（未穿），辽西凹陷钻遇厚度 719.02m（未穿），渤中凹陷钻遇厚度 704m（未穿），沙南凹陷钻遇厚度 632m（未穿）。在渤中凹陷的腹部，沙四段和沙三段沉积厚度之和在 4000m 以上（图 1-3）。

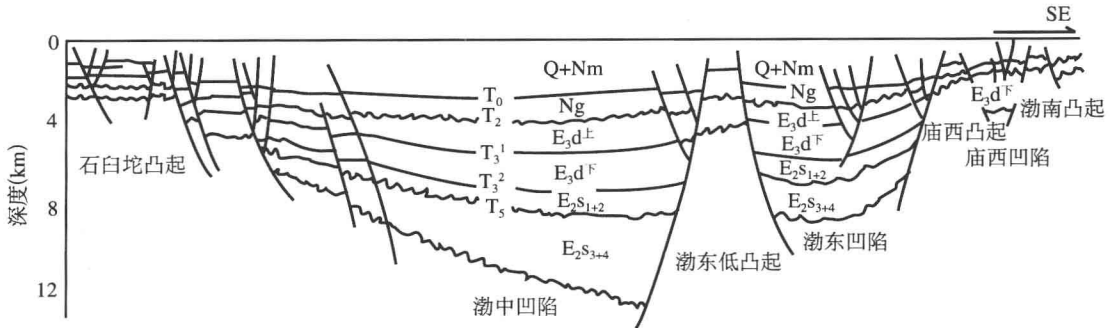


图 1-3 过渤中拗陷的地质结构剖面图

3. 裂陷Ⅲ期（Ⅲ幕）

始新世末期，盆地发生较大规模的抬升（喜马拉雅运动Ⅲ幕），湖水变浅，形成以滨浅湖相为主的沙二段沉积，由于物源丰富，沉积物中粗碎屑含量高，同时局部发育碳酸盐岩台地沉积，水下扇和扇三角洲沉积发育，形成了良好的储层。早渐新世晚期沙一段沉积时，发生湖侵，水域范围再次扩大，凹陷中浅湖—半深湖相沉积发育，形成了裂陷Ⅲ期的沙一段烃源岩。沙一段沉积时期由于水质咸化，物源减弱，湖盆内浅水碳酸盐岩台地沉积发育，形成的由深灰色泥岩、钙质页岩、泥灰岩、白云质灰岩和生物碎屑灰岩等组成的“特殊岩性”成为沙一段烃源岩的识别标志。沙一段已有众多钻井揭露，钻遇厚度最大者 192 ~ 248m（未穿），一般厚度不足 100m。

4. 裂陷Ⅳ期（Ⅳ幕）

中渐新世，盆地拉张裂陷作用再度加强，裂陷再次扩张，盆地沉降速度增大，水体加深，较深水湖相沉积发育，形成了东营组下段优质烃源岩。东营组下段钻井揭露最厚者为辽中凹陷，钻遇最大厚度 1775m（未穿），渤中凹陷和庙西凹陷钻遇厚度均超过 1000m。渤中凹陷腹部东营组下段的沉积厚度超过 2000m（图 1-3）。

这一时期的另一环境特征是，随着盆地深陷，物源供给充分，大型三角洲逐渐发育形成，由凹陷边缘向湖盆内部推进。

晚渐新世湖水大规模退缩，凹陷逐渐填平，形成大面积的河流平原相粗碎屑沉积，该时期未能形成有意义的烃源层。

渐新世末期，地壳抬升，地层遭受剥蚀，从而结束了古近纪裂陷湖盆的沉积历史，开始了新近纪拗陷阶段以河流相为主的粗碎屑沉积建造，该时期未能形成有效烃源层。

（二）北部湾盆地

盆地的形成与演化亦经历了古近纪的张裂与新近纪裂后两大阶段。张裂阶段盆地发育以断陷为主，形成陆相湖盆（图 1-4）；裂后阶段盆地发育以拗陷为主，形成了海相沉积体系（茹克，1988）。张裂阶段亦分为 4 个裂陷期（幕），各期有不同的应力场分布，接受了不同的沉积充填，相应形成了不同的烃源层系。

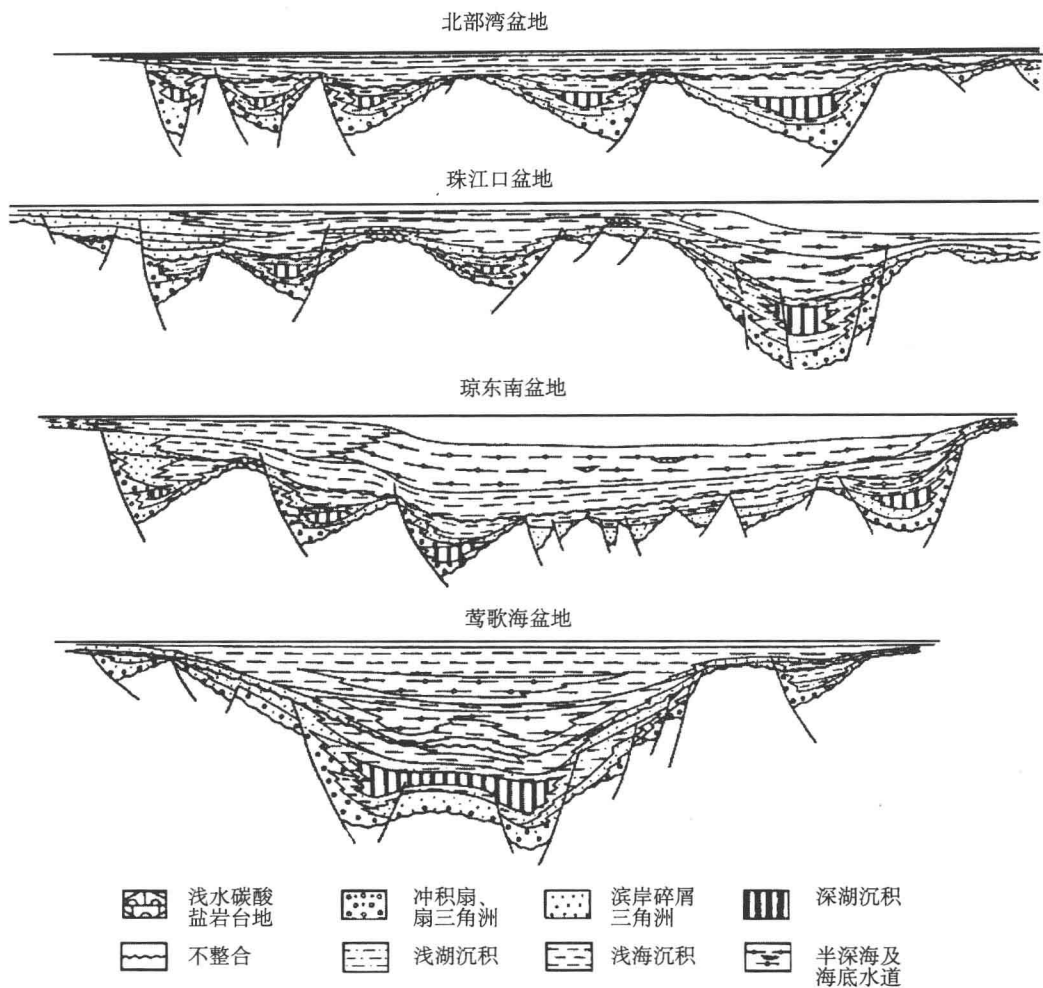


图 1-4 南海北部边缘盆地结构与充填样式图

1. 裂陷 I 期 (I 幕)

晚白垩世—古新世盆地在张应力作用下开始张裂，形成许多受北东向断裂控制的半地堑，地堑中发育了红色充填沉积，地层为长流组。该时期盆地沉降速率低，部分地域开始发育小湖盆，形成比较局限的暗色泥岩沉积。如迈陈凹陷某井钻遇长流组厚度 574m，主要为棕红色砂泥岩，夹有部分灰黑色泥岩。

2. 裂陷 II 期 (II 幕)

始新世早期，盆地沉降速率加快，裂陷 I 期形成的基底断裂继续活动，拉张加剧，产生多为北东东向的新的断裂。该期盆地稳定下沉，早期形成的小湖盆扩大，水体加深，物源供给不充分，形成欠补偿性沉积，沉积物粒度明显变细，泥页岩比例剧增，形成流沙港组以湖相泥岩为主的沉积。

盆地中流沙港组发育程度不均衡，最发育者为福山凹陷和乌石凹陷，最大厚度均超过 4000m；涠西南和迈陈凹陷相当，最大厚度超过 2500m；海中和海头北凹陷发育程度差。

流沙港组由 3 个层序组成，其中流二段沉积时水体最深，水域最广，形成的流二段半深湖相泥岩是盆地最重要的烃源岩。